

**Construção de um simulador solar****Construction of a solar simulator**

DOI:10.34117/bjdv6n2-138

Recebimento dos originais: 30/12/2019

Aceitação para publicação: 13/02/2020

**Paulo Roberto Innocente**

Formação acadêmica mais alta: Doutor em Física

Instituição: Universidade Comunitária da Região de Chapecó (Unochapecó)

Endereço: Rua santo Vassoler, 460. Engenho Braun. Cep 89804720 Chapecó-SC.

E-mail: pri@unochapeco.edu.br

**Vinicius Boniatti**

Formação acadêmica mais alta: graduando em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade Comunitária da Região de Chapecó (Unochapecó)

Endereço: Servidão Anjo da Guarda, 295-D - Efapi, Chapecó - SC, Cep: 89809-900

E-mail: viniciusboniatti@unochapeco.edu.br

**RESUMO**

Esse trabalho teve como objetivo a construção de um simulador solar, para testes de células solares e fotoeletroquímicas. A célula fotovoltaica utiliza a luz solar para gerar uma diferença de potencial elétrico em semicondutores afim de aplicar essa tensão em circuitos elétricos externos. As células fotoeletroquímicas utilizam a luz solar para transferir energia aos portadores de carga do semicondutor, com finalidade de que os portadores de carga negativa (elétrons) possam interagir com íons de hidrogênio ( $H^+$ ) contidos na água, gerando assim o gás hidrogênio ( $H_2$ ). O simulador foi construído com uma lâmpada de arco xenônio de descarga de alta pressão, por possuir um espectro eletromagnético semelhante a luz solar. O funcionamento da lâmpada é controlado por um kit de reatores, pois é necessário aplicar por um tempo muito curto uma tensão elétrica de aproximadamente 23 kV para a ionização do gás e em seguida a tensão precisa ser reduzida e a corrente elétrica estabilizada. Para formação de um feixe de luz intenso foi necessário o uso de um espelho parabólico e lentes convergentes. Também foi acrescentado um sistema modulação, para que o tempo de incidência da luz sobre a amostra seja controlada. Medições da intensidade do feixe e do efeito da luz sobre células fotoeletroquímicas foram medidos em um laboratório especializado e comparados com o simulador solar comercializado pela empresa americana ABET. As medidas mostraram que o simulador solar construído nesse trabalho tem um feixe luminoso com características próximas do espectro padrão definido pela Sociedade Americana de Ensaio e Materiais e usado como referência na grande maioria dos trabalhos científicos, chamado de AM1,5G. Assim, foi possível construir um simulador solar de baixo custo, para utilizar no laboratório em teste de células fotovoltaicas e fotoeletroquímicas.

**Palavras Chaves:** Simulador Solar, Xenônio.

**ABSTRACT**

This work aimed to build a solar simulator, for testing solar cells and photoelectrochemicals. The photovoltaic cell uses sunlight to generate a difference in electrical potential in semiconductors in order to apply this voltage to external electrical circuits. Photoelectrochemical cells use sunlight to transfer energy to the semiconductor charge carriers, so that the negative charge carriers (electrons) can interact with hydrogen ions ( $H^+$ ) contained in the water, thus generating hydrogen gas ( $H_2$ ). The simulator was built with a high pressure discharge xenon arc lamp, as it has an electromagnetic spectrum similar to sunlight. The operation of the lamp is controlled by a reactor kit, as it is necessary to apply an electrical voltage of approximately 23 kV for a very short time for the gas ionization and then the voltage must be reduced and the electrical current stabilized. To form a beam of intense light, it was necessary to use a parabolic mirror and converging lenses. A modulation system was also added, so that the time of incidence of light on the sample is controlled. Measurements of beam intensity and the effect of light on photoelectrochemical cells were measured in a specialized laboratory and compared with the solar simulator sold by the American company ABET. The measurements showed that the solar simulator built in this work has a light beam with characteristics close to the standard spectrum defined by the American Society of Tests and Materials and used as a reference in the vast majority of scientific works, called AM1.5G. Thus, it was possible to build a low-cost solar simulator, to be used in the laboratory for testing photovoltaic and photoelectrochemical cells.

**Keywords:** Solar Simulator, Xenon.

**1 INTRODUÇÃO**

A energia solar é um grande potencial com condições para suprir as demandas atuais e futuras de energia do mundo <sup>1,2</sup>. A energia solar pode ser utilizada em células fotovoltaicas para gerar uma diferença de potencial elétrico em diodos semicondutores<sup>3</sup>, enquanto as células fotoeletroquímicas, utiliza a luz solar para transferir energia aos portadores de carga do semicondutor, dando condições aos elétrons de interagirem com íons de hidrogênio ( $H^+$ ) da água e gerando assim o gás hidrogênio ( $H_2$ )<sup>4</sup>. Os fotoeletrodos para células fotovoltaicas e fotoeletroquímicas são preparados para a incidência da luz solar natural. No entanto, a luz solar não tem a mesma intensidade e distribuição espectral em toda a Terra. Então, para teste e aferimento dessas células geralmente é utilizado um equipamento que emite luz com espectro equivalente a luz solar, chamados de Simulador Solar.

A luz solar possui um espectro, formado pelos diversos comprimentos de onda e respectivas intensidades. O espectro padrão definido pela Sociedade Americana de Ensaios e Materiais <sup>5</sup> usado como referência na grande maioria dos trabalhos científicos é chamado de AM1,5G, onde a sigla AM significa massa de ar (*air mass*) e a letra G significa global. O parâmetro 1,5 representa que o caminho da radiação através da atmosfera é 1,5 vezes o

comprimento do menor caminho, em que o sol está no ápice. Esse parâmetro também pode ser calculado pela equação  $AM(G) = \frac{1}{\cos Z}$ , onde Z é o ângulo zenital. O espectro AM1,5G é para uma região cujo valor de Z seja  $48,19^\circ$  e corresponde a intensidade de  $1.000 \text{ W/m}^2$  ou  $100 \text{ mW/cm}^2$ <sup>6</sup>. O espectro AM0 é referente ao espectro solar antes que a luz penetre na atmosfera, AM1G é referente ao espectro solar com incidência normal sobre a Terra, conforme é mostrado na figura 1.

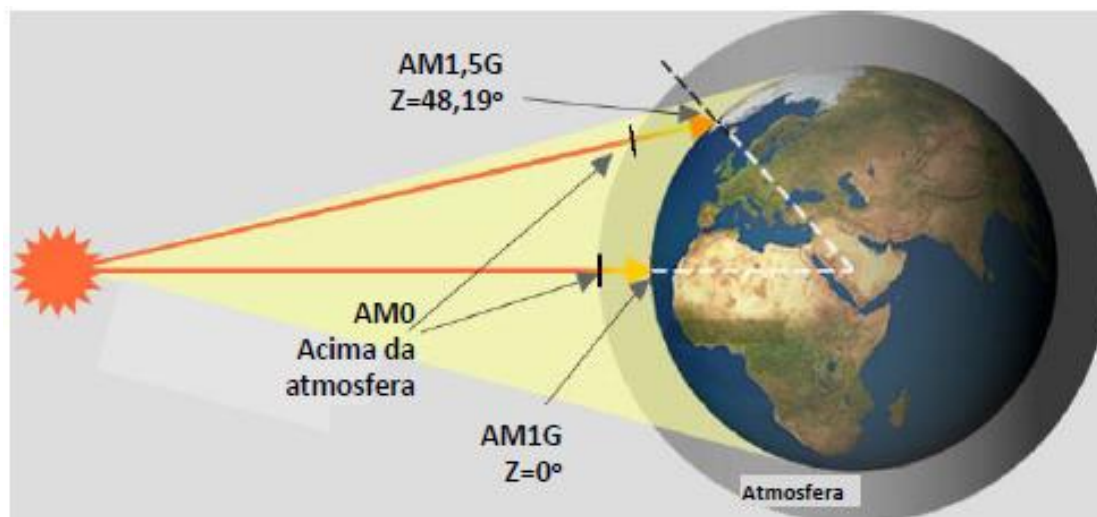


Figura 1: Incidência da luz solar, formando os espectros AM0, AM1G e AM1,5G. Fonte: Figura alterada da referência<sup>6</sup>.

Para que o simulador solar possuir as propriedades de intensidade e espectral semelhante a luz emitida pelo sol é necessário utilizar uma lâmpada de arco de xenônio. Essas lâmpadas são acionadas por eletricidade, do tipo descarga de alta pressão, pertencentes a um grupo de fontes de luz denominadas de HID (high intensity discharge). Dois eletrodos montados em um bulbo separados por poucos milímetros de distância na qual forma-se um pequeno arco voltaico que apesar do pequeno tamanho, emite luz de extrema intensidade. O bulbo é preenchido com gás xenônio, que quando ionizado, produz o arco elétrico sob uma determinada pressão.

Para a ignição da lâmpada se faz necessário um pulso de tensão por alguns milésimos de segundo na ordem de 23kV (quilovolts), segundo o manual do produto, este pulso se dá com o uso de um componente chamado ignitor, ligado diretamente há uma fonte de tensão que alimenta o sistema. Através do pulso de alta tensão instaura-se um arco elétrico na lâmpada, ocasionando a ionização do gás xenônio através da colisão dos elétrons pela alta diferença de potencial gerada pelo ignitor e a fonte, gerando luz através do processo como um todo. Após

o arco ser formado e a ionização ter sido completada com eficiência, o reator que está ligado junto a fonte de tensão e o ignitor assume seu papel estabilizando a tensão e a corrente para valores nominais de operação, sendo assim a tensão pós-pulso tende a decrescer para valores dentre 9-18 Volts, e corrente 3,2 Amperes, valores tidos como nominais de operação da lâmpada.

O feixe emitido pela lâmpada precisa convergir, de forma que o máximo de luz incida sobre uma pequena amostra em estudo, por isso é necessário utilizar um espelho para redirecionar o feixe de luz e de uma lente que irá garantir que a luz emitida pela lâmpada se concentre para uma região focal aceitável.

O funcionamento do simulador solar foi avaliado no LFFS (laboratório de filmes finos e superfícies) do departamento de Física da UFSC (universidade federal de Santa Catarina). Para medir a intensidade do feixe, foi utilizado célula fotovoltaica, que é comercializada pela empresa norte americana ABET TECHNOLOGIES para aferições de simuladores solares comerciais.

## **2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS**

O simulador solar foi construído com baixo custo, adaptando materiais e componentes. A parte elétrica do simulador foi constituída de fonte de alimentação, reator, ignitor e a lâmpada de xenônio. Na parte ótica foi utilizado um espelho parabólico e uma lente com posição regulável. Todos esses componentes foram acomodados em uma estrutura de MDF (Medium Density Fiberboard). Para alimentação do sistema foi utilizada uma fonte capaz de realizar a conversão de CA corrente alternada da rede elétrica ~220V, para CC corrente contínua nominal da lâmpada, com valores de tensão entre 09 a 18 V, e uma corrente máxima de 3,2 A. Nesse trabalho foi utilizada uma fonte de alimentação Colmeia 12 V 10 A modelo LD-120A, representada na figura 2.

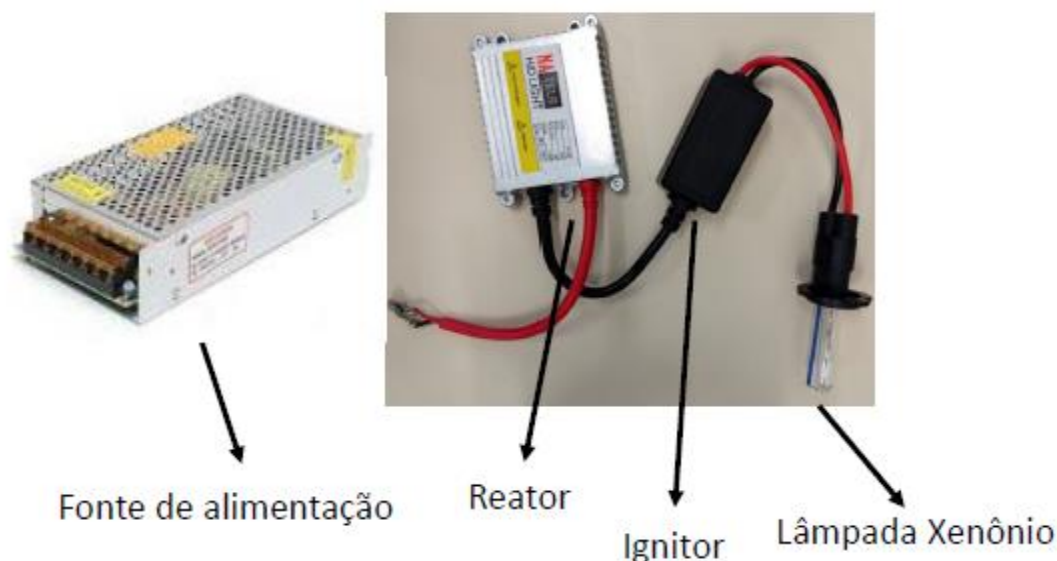


Figura 2: fonte de alimentação, reator, ignitor e a lâmpada de xenônio. Fonte: autor

Foi utilizada uma Lâmpada automotiva de arco de xenônio modelo HID 8.000K H7 12 V 35 W, com reator e ignitor que faz parte do kit mostrado na figura 2, além de chaves de liga e desliga e fiação condutora. Foi utilizado um espelho parabólico, que é comercializado para faróis de um determinado veículo automotivo chamado Jeep Compass e uma lente de característica plano-convexa. Para que regular a intensidade do feixe luminoso foi implementado uma corredeira para mover a lente, conforme mostrado na figura 3.

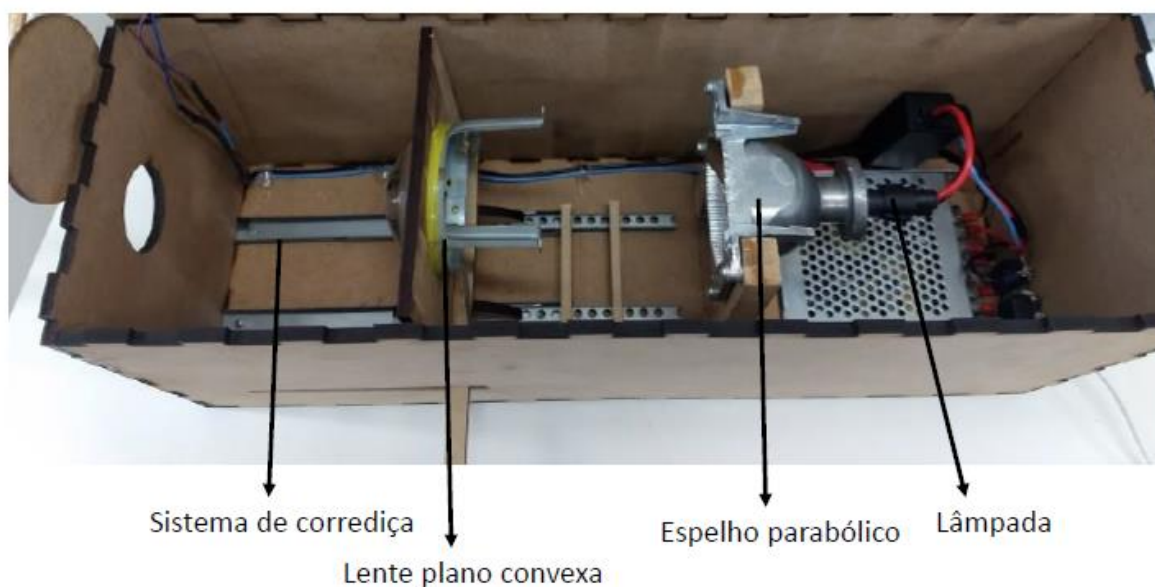


Figura 3: parte ótica com espelho parabólico lente montada em uma corredeira

A lente foi montada em suporte com pedestais e fixado sobre um sistema de trilhos, garantindo que houvesse mobilidade por parte do conjunto suporte lente, através dos trilhos. A mobilidade exercida pela lente é de aproximadamente 12,5cm e o movimento exercido pelo sistema de lentes alocado aos trilhos é linear, se considerar a lâmpada como referencial. Um eletroímã foi instalado para auxiliar o fechamento e abertura da saída de luz pelo orifício circular, isto é, para fazer a modulação, conforme mostrado na figura 4.

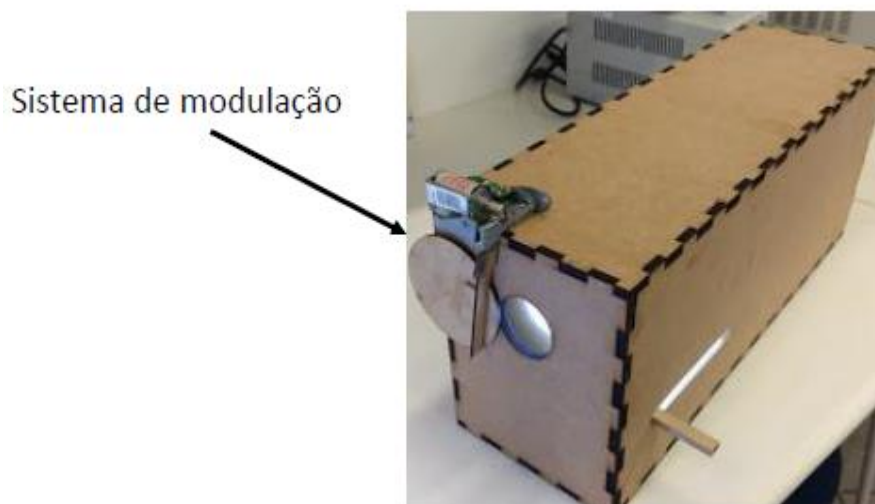


Figura 4: simulador solar com eletroímã instalado para auxiliar o fechamento e abertura da saída de luz pelo orifício circular. Fonte: autor

### 3 RESULTADOS

O funcionamento do simulador solar foi avaliado no LFFS (laboratório de filmes finos e superfícies) do departamento de Física da UFSC (universidade federal de Santa Catarina). Para medir a intensidade do feixe, foi utilizado célula fotovoltaica, que é comercializada pela empresa norte americana ABET TECHNOLOGIES para aferições de simuladores solares comerciais. Segundo os manuais do simulador solar comercializado pela ABET, se a luz gerar uma tensão de 100 mV na célula fotovoltaica, a intensidade do feixe atingiu o padrão AM1,5G. Em medidas realizadas, conforme mostradas na figura 5, o simulador construído nesse trabalho gerou uma tensão máxima de quase 125 mV.





Figura 5: medida da intensidade luminosa com célula fotovoltaica comercializada pela ABET

Para avaliar o gerador solar também foi realizado um teste fotoeletroquímico. Para esse teste é utilizado o potenciostato, que tem função de aplicar uma tensão variável na célula e medir a fotocorrente, ou seja, a corrente devido a iluminação em um filme fotossensível. Nesse trabalho foi utilizado o óxido de cobre ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) obtido por eletrodeposição de acordo com vários trabalhos científicos<sup>7-9</sup>. A célula fotoeletroquímica montada para o teste possui três eletrodos e uma solução composta por  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (1,0 M) dissolvido em água deionizada, conforme procedimento adotado em trabalhos científicos<sup>4,7,10,11</sup> que realizam testes fotoeletroquímicos em células geradoras de  $\text{H}_2$ . Esta célula é representada na figura 6. O pH da solução foi ajustado em 4,9 pela adição de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

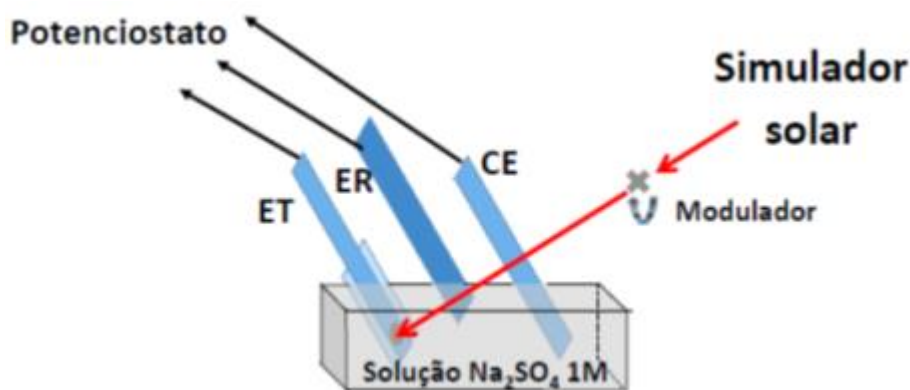


Figura 6: Representação da célula eletroquímica utilizada para testes fotoeletroquímicos. Fonte: autor

O eletrodo que recebe a iluminação é chamado de eletrodo de trabalho (ET) ou também chamado de cátodo. A amostra do filme é fixada nesse eletrodo. O outro eletrodo é o contra eletrodo (CE), também chamado de ânodo, ele é inerte, de platina. O potencial elétrico imposto pelo potenciostato entre o ET e o CE é monitorado por um terceiro eletrodo denominado de eletrodo de referência (ER). Nesse trabalho o potencial é medido com eletrodo de referência de calomelano saturado (saturated calomel electrode – SCE). O potenciostato aplicou um potencial variável entre -0,4 V a 0,0 V e mediu o a corrente que passa através do ET e CE.

O resultado da medida utilizando o simulador construído nesse trabalho foi comparado com uma medida realizada em mesmas condições utilizando um simulador solar comercializado pela empresa ABET e regulado para emitir o padrão definido pela Sociedade Americana de Ensaios e Materiais e usado como referência na grande maioria dos trabalhos científicos, chamado de AM1,5G. Os resultados apresentados na figura 7 mostram que nos instantes que o feixe de luz incide no filme de  $\text{Cu}_2\text{O}$  ocorre um crescimento abrupto da densidade de corrente elétrica para valores negativos. Essa corrente elétrica, também é chamada de fotocorrente, depende do potencial elétrico aplicado, do espectro e intensidade da iluminação. O valor da fotocorrente representada pela curva preta é referente a iluminação com o equipamento comercial e a curva em vermelho representa a fotocorrente gerada com o uso do simulador solar construído nesse trabalho. As medidas mostraram que o simulador solar construído nesse trabalho tem um feixe luminoso com características próximas do espectro AM1,5G. Em alguns potenciais as medidas são muito próximas, para o potencial de aproximadamente -0,39 V o valor da fotocorrente ficou 5% menor que o comercial, essa porcentagem cresce para potenciais menos negativos. Isso porque nas lâmpadas de xénon automotiva a emissão de ultravioleta é bloqueada.



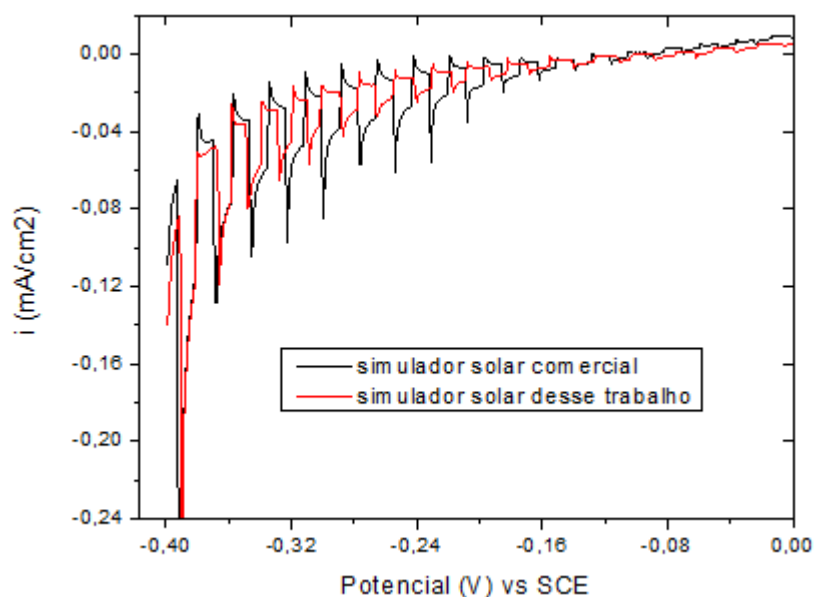


Figura 7: Resultado do teste do teste fotoeletroquímico, medida da a fotocorrente em função do potencial aplicado. A fotocorrente ficou 5% menor que obtida com o simulador solar comercial, essa porcentagem cresce para potenciais menos negativos. Fonte: autor

#### 4 CONCLUSÃO

As medidas mostraram que o simulador solar construído neste trabalho tem um feixe luminoso com características próximas do espectro padrão, definido pela Sociedade Americana de Ensaios e Materiais, e que por sua vez é usado como referência na grande maioria dos trabalhos científicos, espectro este chamado de AM1,5G. Assim, foi possível construir um simulador solar, sendo possível a sua utilização em células fotovoltaicas e fotoeletroquímicas.

Esse trabalho também desperta a possibilidade de trabalhar com a construção de equipamentos científicos, a instrumentação científica, para reduzir custos, tornando a pesquisa científica acessível e sustentável.

#### AGRADECIMENTO

Agradecemos a Unochapecó pelo recurso financeiros que custearam esse trabalho, conforme EDITAL N. 35/REITORIA/2018 e ao professor André A. Pasa, diretor do LFFS (laboratório de filmes finos e superfícies) do departamento de Física da UFSC (universidade federal de Santa Catarina) pelas medidas com simulador solar comercializado pela empresa ABET.

**REFERÊNCIAS**

- International Energy Agency. Energy Technology Perspectives 2014.
- Gur, T. M., Bent, S. F. & Prinz, F. B. Nanostructuring Materials for Solar-to-Hydrogen Conversion. *J. Phys. Chem.* **118**, 21301–21315 (2014).
- Yu, L., Xiong, L. & Yu, Y. Cu<sub>2</sub>O Homojunction Solar Cells : F-Doped N- type Thin Film and Highly Improved Efficiency Cu<sub>2</sub>O Homojunction Solar Cells : F - Doped N - type Thin Film and Highly Improved Efficiency. (2015). doi:10.1021/acs.jpcc.5b06736
- Paracchino, A., Laporte, V., Sivula, K., Grätzel, M. & Thimsen, E. Highly active oxide photocathode for photoelectrochemical water reduction. *Nat. Mater.* **10**, 456–61 (2011).
- Murphy, A. B. *et al.* Efficiency of solar water splitting using semiconductor electrodes. *Int. J. Hydrogen Energy* **31**, 1999–2017 (2006).
- Green rhino energy. “Green rhino energy”. <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/radiation/spectra.php> (acesso em 2 -março-2017) (2017). Available at: <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/radiation/spectra.php>. (Accessed: 2nd March 2017)
- Innocente, P. R. Fotocatodos de Cu<sub>2</sub>O. (Tese de doutorado - departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, 2017).
- Golden, T. D. *et al.* Electrochemical Deposition of Copper ( I ) Oxide Films. *Chem. Mater.* **4756**, 2499–2504 (1996).
- Brandt, I. S. *et al.* Structural and optical properties of Cu<sub>2</sub>O crystalline electrodeposited films. *Thin Solid Films* **562**, 144–151 (2014).
- Wu, L., Tsui, L., Swami, N. & Zangari, G. Photoelectrochemical Stability of Electrodeposited Cu<sub>2</sub>O Films. *J. Phys. Chem.* **114**, 11551–11556 (2010).
- Morales-Guio, C. G., Tilley, S. D., Vrubel, H., Grätzel, M. & Hu, X. Hydrogen evolution from a copper(I) oxide photocathode coated with an amorphous molybdenum sulphide catalyst. *Nat. Commun.* **5**, 3059 (2014).

